



Prioritätsbescheinigung über die Einreichung einer Patentanmeldung

Aktenzeichen: 103 06 234.3

Anmeldetag: 14. Februar 2003

Anmelder/Inhaber: DaimlerChrysler AG,
Stuttgart/DE

Bezeichnung: Vorrichtung zur Luftversorgung einer Brennstoffzelle

Priorität: 04.02.2003 DE 103 04 540.6
.6

IPC: H 01 M 8/04

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 13. November 2003
Deutsches Patent- und Markenamt

Der Präsident

Im Auftrag

Hoiß

DaimlerChrysler AG

Senft

11.02.2003

Vorrichtung zur Luftversorgung einer Brennstoffzelle

5 Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung zur Luftversorgung einer Brennstoffzelle mit einem Expander und einem zumindest teilweise davon angetriebenen Verdichter, wobei der Expander zumindest zeitweise von den heißen Abgasen einer Verbrennung durchströmt ist.

10

Eine derartige Vorrichtung zur Luftversorgung eines Brennstoffzellensystems ist aus der DE 197 55 116 C1 bekannt. Auch hier erfolgt die Versorgung der Brennstoffzelle mittels eines Verdichters, der an einen Expander und an einen elektrischen
15 Motor gekoppelt ist. Der Expander liefert dabei je nach Betriebszustand zumindest zeitweise einen Teil der Antriebsenergie für den Verdichter. Der Antrieb des Expanders selbst erfolgt durch die Abgase der Brennstoffzelle, welche gegebenenfalls unter Zugabe eines Brennstoffs in einem katalytischen Brenner nachverbrannt werden.

20

Der Nachteil eines derartigen Aufbaus liegt in den energetischen Anforderungen an die Verbrennung sowie den baulichen Anforderungen an den Expander. Ausgehend von einem Abgastemperaturniveau der als PEM-Brennstoffzelle ausgebildeten Brennstoffzelle in der Größenordnung von ca. 80°C muss ein
25 entsprechend hohes Temperaturniveau vor dem Eintritt in den Expander erreicht werden, so dass dieser effektiv zu betreiben ist. Dafür ist in praktisch allen Betriebszuständen eine Zuheizen mit Brennstoff im Bereich des katalytischen Brenners
30 notwendig. Die erreichbare Temperatur wird dazu außerdem

durch den katalytischen Brenner an sich beschränkt, da dessen Katalysatoren keine beliebig hohen Temperaturen ermöglichen. Um bei diesen Voraussetzungen nun dennoch eine möglichst hohe Energieausbeute zu erreichen und nach dem Expander eine
5 Temperaturniveau zu erzielen, welches so direkt an die Umgebung abgegeben werden kann, ohne große energetische Verluste hinnehmen zu müssen, ist ein entsprechend aufwändiger und hochwertiger Expander notwendig. Dieser macht die Vorrichtung zur Luftversorgung jedoch in nachteiliger Weise sehr teuer,
10 sehr schwer und entsprechend anfällig gegenüber jeglicher Art von Störungen.

Ausgehend davon ist es die Aufgabe der Erfindung eine Vorrichtung zur Luftversorgung einer Brennstoffzelle in der oben
15 genannten Art zu schaffen, welche die genannten Nachteile vermeidet, und welche einen einfachen sowie energetisch optimierten und hinsichtlich der Leistung sehr variablen Aufbau ermöglicht.

20 Erfindungsgemäß wird diese Aufgabe durch die im kennzeichnenden Teil von Anspruch 1 genannten Merkmale gelöst.

Die Abgabe von thermischer Restenergie von den Abgasen nach dem Expander an zumindest eines der zur Verbrennung strömenden Gase, welche z.B. die aus der Brennstoffzelle kommenden
25 Anoden- und Kathodenabgase sein können, ermöglicht eine deutliche Vorwärmung dieser Edukte für die Verbrennung. Somit lässt sich ein deutlich höheres Temperaturniveau bei deutlich weniger Einsatz an Brennstoff erzielen, als dies beim Stand
30 der Technik der Fall ist.

Die Tatsache, dass die Restenergie aus den Abgasen nach dem Expander sinnvoll genutzt wird, erlaubt außerdem einen Betrieb des Expanders bei Temperaturen, welche energetisch
35 deutlich besser zu nutzen sind, als wenn nach dem Expander annähernd Umgebungstemperatur vorliegen müsste. So kann der Expander in entsprechend einfacherer, leichter und kleinerer

rer Bauart als gemäß den Stand der Technik realisiert werden und wird dennoch eine höhere Variabilität hinsichtlich der durch ihn erzeugten Leistung aufweisen.

5 Gemäß einer sehr vorteilhaften Weiterbildung der Erfindung ist die Vorrichtung so ausgebildet, dass die Abgase nach dem Expander einem außerdem von zu der Verbrennung strömender Luft durchströmten Wärmetauscher durchströmen.

10 Dieser Aufbau ist sehr günstig, das es energetisch besonders zweckmäßig ist es die Luft für die Verbrennung vorzuwärmen, da diese im allgemeinen aufgrund der hohen inerten Anteile, wie z.B. Stickstoff, den deutlich größeren Volumenstrom als Brennstoff aufweist und die deutlich höhere Wärmekapazität
15 aufweist. Besonders hoch wird diese Wärmekapazität bei den bereits angesprochenen Anoden- und Kathodenabgase aus der Brennstoffzelle, da diese außerdem noch Wasser enthalten. Der mit deutlich geringerem Volumenstrom zugeführte Brennstoff wird derartige Wärmekapazitäten nicht erreichen, so dass die
20 Vorwärmung der Luft energetisch sinnvoller ist.

In einer besonders günstigen Ausgestaltung der erfindungsgemäßen Vorrichtung kann es außerdem vorgesehen sein, dass zumindest während zeitlichen Abschnitten des Betriebs der Vorrichtung die Abgase nach dem Sie zumindest ein Teil der in
25 ihnen enthaltenen Restenergie nach dem Expander an den wenigstens einen der der Verbrennung zugeführten Stoffströme abgeben haben, weitere in ihnen verbleibende thermische Restenergie an ein Kühlmedium für die Brennstoffzelle abgeben.

30

Damit kann die Restliche, nach der Vorwärmung der Edukte bzw. der Luft für die Verbrennung, in den Abgasen noch enthaltene Energie ebenfalls genutzt werden. Dies macht im Kaltstartfall besonders viel Sinn, da hier durch eine Erwärmung des Kühlmediums auch eine Erwärmung der Brennstoffzelle selbst, welche
35 von diesem Kühlmedium durchströmt wird, erfolgt. Außerdem können im Kaltstartfall höhere Leistungen des Expanders sinn-

voll sein, beispielsweise für die Luftversorgung von Brennern zur Vorwärmung von Komponenten eines Gaserzeugungssystems oder dergleichen. Damit wird dann häufig ohnehin ein höheres Temperaturniveau der Abgase vorliegen, so dass auch die
5 verbleibende Restenergie in den Abgasen nach der Vorwärmung der Edukte höher ist. Diese kann dann sehr effektiv zur Vorwärmung der Brennstoffzelle sowie gegebenenfalls andere im Kühlkreislauf befindliche Komponenten über deren Kühlmedium genutzt werden.

10

Eine besonders vorteilhafte Verwendung der erfindungsgemäßen Vorrichtung oder einer ihrer möglichen Ausgestaltungen sieht vor, die Vorrichtung zur Luftversorgung in einem mobilen Brennstoffzellensystem einzusetzen.

15

Für derartige mobile Systeme, es kann sich dabei ebenso um einen Antrieb für ein Land-, Wasser- oder Luftfahrzeug wie um einen Hilfsenergieerzeuger (APU/auxiliary power unit) - abhängig oder unabhängig von einem derartigen Fahrzeug - handeln,
20 ist eine hohe Variabilität der Leistung sowie eine leichte, kostengünstige und robuste Ausführung, wie Sie durch die Erfindung erzielt wird, besonders günstig.

Dabei zeigen:

25

Fig. 1 eine Prinzipdarstellung einer erfindungsgemäßen Vorrichtung zusammen mit einer Brennstoffzelle; und
Fig. 2 eine alternative Ausgestaltung der erfindungsgemäßen Vorrichtung zusammen mit der Brennstoffzelle.

30

In Fig. 1 ist eine Brennstoffzelle 1 mit einem Kathodenraum K und einem Anodenraum A dargestellt. Die Brennstoffzelle 1 soll in an sich bekannter Weise als Brennstoffzellenstapel bzw. Brennstoffzellenstack auf Basis von einzelnen PEM-Brennstoffzellen ausgebildet sein. Neben dem Kathodenraum K
35 und dem Anodenraum A, welche durch die protonenleitende Membran (PEM) von einander getrennt sind, weist die Brenn-

stoffzelle 1 außerdem Kühleinrichtungen 2 auf, welche von einem Kühlmedium durchströmt werden, und welche Teil eines an sich bekannten und üblichen Kühlkreislaufs 3 sind. Dieser Kühlkreislauf 3 weist weitere Komponenten auf, z.B. ein Kühler zur Abgabe von Wärme an die Umgebung, eine Fördereinrichtung für das Kühlmittel und/oder dergleichen. Diese weiteren Komponenten sind in dem hier abgebildeten Kühlkreislauf 3 nicht explizit dargestellt, sondern durch den punktierten Bereich 4 lediglich prinzipiell angedeutet. Sie sind jedoch ohnehin allgemein bekannt und spielen für die folgenden Ausführungen keine Rolle.

Die Brennstoffzelle 1 wird auf der Seite ihres Anodenraumes A mit Wasserstoff oder einem wasserstoffhaltigen, möglichst wasserstoffreichen, Gas versorgt. In den hier dargestellten Figuren stammt dieses Gas aus einer prinzipmäßig angedeuteten Wasserstoffbereitstellungseinrichtung 5. In dieser Wasserstoffbereitstellungseinrichtung 5 kann der Wasserstoff auf verschiedene bekannte Arten gespeichert oder erzeugt werden. Beispielfhaft sei hier die Speicherung des Wasserstoffs als Druckwasserstoff, Flüssigwasserstoff oder mittels Metallhydriden genannt. Als Beispiele für die Erzeugung können verschiedenartige Gaserzeugungssysteme genannt werden, bei welchen der Wasserstoff aus Einsatzstoffen, wie z.B. Kohlenwasserstoffe und/oder Kohlenwasserstoffderivate und Wasser, mittels Oxidation und/oder Reformierung erzeugt wird. Das so entstehende wasserstoffhaltige Gas kann dann nach entsprechenden Reinigungseinrichtungen, z.B. selektiven Oxidationsstufen, selektiv für Wasserstoff permeablen Membranen oder dergleichen, als mehr oder weniger reiner Wasserstoff oder als wasserstoffhaltiges Gas dem Anodenraum A der Brennstoffzelle 1 zugeführt werden.

Der Kathodenraum K der Brennstoffzelle 1 wird durch eine Luftversorgungsvorrichtung 6 mit Luft als Oxidationsmittel versorgt. Die Luftversorgungsvorrichtung 6 besteht aus einem Verdichter 7, einem mit diesem verbundenen Expander 8 sowie

einer Elektromaschine 9. Der Verdichter 7 verdichtet die Luft ausgehend vom Umgebungsdruck auf das für die Versorgung des Kathodenraums K notwendige Druckniveau. Die für den Verdichter 7 benötigte Antriebsenergie liefert dabei zumindest teilweise der Expander 8, in welchem die Abgase aus der Brennstoffzelle 1 wieder entspannt werden. Um die Effizienz des Expanders zu steigern werden die in den Abgasen noch enthaltenen Reste an Sauerstoff und Wasserstoff sowie ggf. an Resten der Einsatzstoffe bei der Ausbildung der Wasserstoffbereitstellungseinrichtung 5 als entsprechendes Gaserzeugungssystem, verbrannt, so dass in den Expander die heißen Abgase der Verbrennung strömen, welche einen deutlich höheren Energieinhalt haben, als wenn auf die Verbrennung verzichtet worden wäre.

15

Diese Verbrennung findet dabei in einem Brenner 10 statt. Der Brenner 10 kann sowohl als katalytischer Brenner als auch als Brenner mit einer Flammverbrennung, z.B. Porenbrenner, offene Flamme oder dergleichen, ausgebildet sein. Eine Ausbildung als katalytischer Brenner bietet dabei den Vorteil einer kontrollierten vollständigen Verbrennung ohne Rückstände.

20

Um die Verbrennung und damit auch die von dem Expander 8 bereitzustellende Energie zu beeinflussen kann über eine Leitung 11 dem Brenner 10 außerdem Brennstoff, in dem hier dargestellten Ausführungsbeispiel der Wasserstoff oder das wasserstoffhaltige Gas aus der Wasserstoffbereitstellungseinrichtung 5, zugeführt werden. Diese Leitung 11 könnte auch den gesamten für die Verbrennung benötigten Brennstoff liefern. Dies wäre im Kaltstartfall der Brennstoffzelle 1 denkbar, wenn noch kein Brennstoff durch den Anodenraum A geleitet wird. Ebenso wäre es dann denkbar, wenn die Brennstoffzelle 1 mit nahezu reinem Wasserstoff in sogenannten Dead-End-Betrieb oder mit einer Restwasserstoffrückführung vom Ausgang des Anodenraums A zu dessen Eingang, betrieben wird. Bei diesen Varianten, bei denen üblicherweise kein Anodenab-

30

35

gas zu dem Brenner 10 gelangt, wäre eine entsprechende Anreicherung mit Brennstoff über die Leitung 11 sinnvoll.

Auch die zu dem Brenner 10 gelangende Luft kann über eine
5 Leitung 12 im Bypass um den Kathodenraum K zu dem Brenner 10
gelangen. Neben dem Kaltstartfall, bei dem dieser Bypass über
die Leitung 12 um den Kathodenraum gemäß dem allgemeinen
Stand der Technik üblich ist, könnte hier auch während des
Betriebs zusätzliche Luft zu dem Brenner 10 geleitet werden,
10 wodurch sich dessen Variabilität entsprechende erhöht.

Egal ob die Luft für die Verbrennung in dem Brenner 10 nun
aus dem Kathodenraum K, aus dem Bypass der Leitung 12 um die
Brennstoffzelle 1 oder aus einer Kombination hiervon stammt,
15 bevor Sie in den Brenner 10 einströmt, wird sie immer zuerst
den Wärmetauscher 13 durchströmen. In dem Wärmetauscher 13
wird die Luft von dem üblicherweise in der Brennstoffzelle 1
oder nach dem Verdichter 7 vorliegenden Temperaturniveau auf
eine Eintrittstemperatur von über 150°C bis 200°C vor dem
20 Brenner 10 vorgewärmt. Als Energiequelle hierfür dient das
aus dem Expander 8 kommende Abgas, welches im Falle einer
Eintrittstemperatur in den Expander 8 von z.B. 400°C immer
noch ca. 200 bis 250°C aufweisen wird. Die durch das Vorwär-
men in die Luft eingetragene Energie spart dann wiederum
25 Verbrennungsenergie ein, welche benötigt wird um auf die oben
genannten 400°C vor dem Eintritt in den Expander 8, also nach
dem Austritt aus dem Brenner 10 zu kommen. Die Nutzung der
Restenergie nach dem Expander 8 ermöglicht es dabei, dass der
Expander 8 bei vergleichsweise hoher Austrittstemperaturen,
30 und damit sehr flexibel hinsichtlich der Leistungsbereitstel-
lung für den Verdichter 7, betrieben werden kann.

Der Expander 8 ist zusammen mit dem Verdichter 7 als eine
Baueinheit ausgebildet, wobei zumindest eine der beiden Kom-
35 ponenten 7, 8 Mittel zur Beeinflussung des anströmenden
und/oder abströmenden Mediums aufweist. Zusätzlich dazu kann
auch die Elektromaschine 9 in die Baueinheit der Luftversor-

gungseinrichtung 6 integriert sein. Die Komponenten 7, 8, 9 der Luftversorgungsvorrichtung 6 werden dann in idealer Weise auf einer gemeinsamen zwecks reiner Zuluft zur Brennstoffzelle 1 möglichst ölfrei gelagerten Welle 14 angeordnet sein. So
5 entsteht als Luftversorgungsvorrichtung 6 eine kompakte Einheit, welche bei zusätzlichem Leistungsbedarf von der Elektromaschine 9 angetrieben werden kann.

Die Luftversorgungsvorrichtung 6 ist dann in günstiger Weise
10 als hochdrehende Verdichter/Expandereinheit mit integrierter Elektromaschine 9 ausgebildet. Als Verdichter 7 findet dabei ein Radialverdichter mit Verstellgitter Verwendung, als Expander 8 eine Turbine mit variablem Turbinenleitgitter 15, wie es in Fig. 1 prinzipmäßig angedeutet ist. Das Verstell-
15 gitter und das variable Turbinenleitgitter 15 bieten als eines der oben genannten Mittel zur Beeinflussung des anströmenden und/oder abströmenden Mediums dann bei den üblicherweise vorliegenden Drehzahlen in der Größenordnung von 50 000 bis 150 000 Umdrehungen je Minute die Möglichkeit einer sehr
20 hoher Lastspreizungen.

Eine weitere alternative oder zusätzliche Möglichkeit für eines der genannten Mittel zur Beeinflussung des anströmenden und/oder abströmenden Mediums ist im Bereich des Verdichters
25 7 exemplarisch angedeutet. Es handelt sich dabei um einen variablen Diffusor 16, welcher hinsichtlich der Lastspreizung ebenfalls eine weiter erhöhte Variabilität ermöglicht.

Der in der Fig. 2 dargestellte Aufbau entspricht dem der Fig.
30 1 dabei über weite Bereiche, so dass nachfolgend nur noch auf die Unterschiede eingegangen werden soll.

Ein erster Unterschied liegt in einem weiteren Wärmetauscher 17, über welchen die dem Wärmetauscher 13 verlassenden Abgase
35 geleitet werden. Dieser Wärmetauscher 17, welcher über die Ventileinrichtung 18 vor allem im Kaltstartfall ganz oder teilweise in den Abgasstrom nach dem Wärmetauscher 13 ge-

schaltet werden kann, sorgt für eine Erwärmung des Kühlmediums in dem Kühlkreislauf 3. So kann eine schnellere Erwärmung des Kühlmediums und damit der Brennstoffzelle 1 erreicht werden. Die Kaltstartzeit, also die Zeit bis die Brennstoffzelle 1 auf Betriebstemperatur ist und ihre bestimmungsgemäße Arbeit aufnehmen kann, wird dadurch signifikant verkürzt. Neben dieser direkten Anordnung des Wärmetauschers 17 in den Abgasen nach dem Wärmetauscher 13 und dem Expander 8, wäre auch eine indirekte Anordnung denkbar, bei welcher ein weiteres Wärmeträgermedium und/oder wärmeaustauschendes oder wärmetransportierendes Bauteil (z.B. einen eigenen Kaltstartwärmeträgerkreislauf oder dergleichen) zu Übertragung der Restwärme in den Kühlkreislauf 3 bzw. in die Brennstoffzelle 1 genutzt wird.

15

Ein weiterer Unterschied ist in der Zufuhr des Brennstoffs zu der Verbrennung in dem Brenner 10 zu erkennen. Dieser stammt entweder aus dem Bereich des Anodenraums A und/oder aber aus einer weiteren Brennstoffquelle 19. Diese weitere Brennstoffquelle 19 kann wiederum ein eigener Brennstofftank oder dergleichen sein. Insbesondere kann diese Quelle jedoch auch im Bereich des Gaserzeugungssystems liegen, falls eine solches eingesetzt wird. Dort könnte nämlich neben Wasserstoff auch der Einsatzstoff selbst, oder ein bei der Reinigung des wasserstoffreichen Gases anfallender Rest, z.B. das meist noch hohe Anteile an Kohlenwasserstoffverbindungen aufweisende Restgas, welchem mittels einer für Wasserstoff selektiv durchgängigen Membran der Wasserstoff entzogen wurde, als Brennstoffquelle 19 dienen.

30

Die Ausgestaltungen, welche im Rahmen der beiden Figuren 1 und 2 beschrieben wurden, können sowohl in den beschriebenen Formen als auch in allen denkbaren Kombinationen hiervon realisiert werden.

DaimlerChrysler AG

Senft

11.02.2003

Patentansprüche

- 5 1. Vorrichtung zur Luftversorgung einer Brennstoffzelle mit einem Expander und einem zumindest teilweise davon angetriebenen Verdichter, wobei der Expander zumindest zeitweise von den heißen Abgasen einer Verbrennung durchströmt ist,
- 10 d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,
dass die Abgase nach dem Durchströmen des Expanders (8) zumindest einen Teil der in ihnen verbleibenden thermischen Restenergie an wenigstens einen der der Verbrennung zugeführten Stoffströme abgeben.
- 15 2. Vorrichtung nach Anspruch 1,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,
dass die Abgase nach dem Expander (8) einem außerdem von zu der Verbrennung strömender Luft durchströmten Wärmetauscher (13) durchströmen.
- 20 3. Vorrichtung nach Anspruch 1 oder 2,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,
dass der Verdichter (7) und der Expander (8) als eine Baueinheit ausgebildet sind, wobei zumindest eine der beiden Komponenten (7,8) Mittel (variables Turbinenleitgitter 15, variabler Diffusor 16) zur Beeinflussung des Anströmenden und/oder abströmenden Mediums aufweist.
- 25 4. Vorrichtung nach Anspruch 3,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,
- 30

dass der Expander (8) als Turbine mit variablem Turbinenleitgitter (15) ausgebildet ist.

5. Vorrichtung nach Anspruch 3 oder 4,
5 d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,
dass der Verdichter (7) mit variablem Diffusor (16) ausgebildet ist.
6. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 5,
10 d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,
dass die Verbrennung in einem Brenner (10) stattfindet.
7. Vorrichtung nach Anspruch 6,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,
15 dass der Brenner (10) als katalytischer Brenner ausgebildet ist.
8. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 7,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,
20 dass die Verbrennung als Verbrennung eines der Brennstoffzelle (1) direkt oder indirekt zugeführten Brennstoffs ausgebildet ist.
9. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 8,
25 d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,
dass zumindest während zeitlichen Abschnitten des Betriebs der Vorrichtung (6) die Abgase nach dem Sie zumindest eine Teil der in ihnen enthaltenen Restenergie nach dem Expander (8) an den wenigstens einen der der Verbrennung zugeführten Stoffströme abgeben haben, weitere in
30 ihnen verbleibende thermische Restenergie an ein Kühlmedium für die Brennstoffzelle (1) abgeben.
10. Vorrichtung nach Anspruch 9,
35 d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,
dass zur Abgabe der weiteren verbleibenden thermische Restenergie an das Kühlmedium für die Brennstoffzelle (1)

eine Wärmetauscher (17) vorgesehen ist, welcher direkt oder indirekt in dem Abgasstrom nach dem Expander (8) angeordnet ist.

- 5 11. Verwendung der Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche in einem mobilen Brennstoffzellensystem.

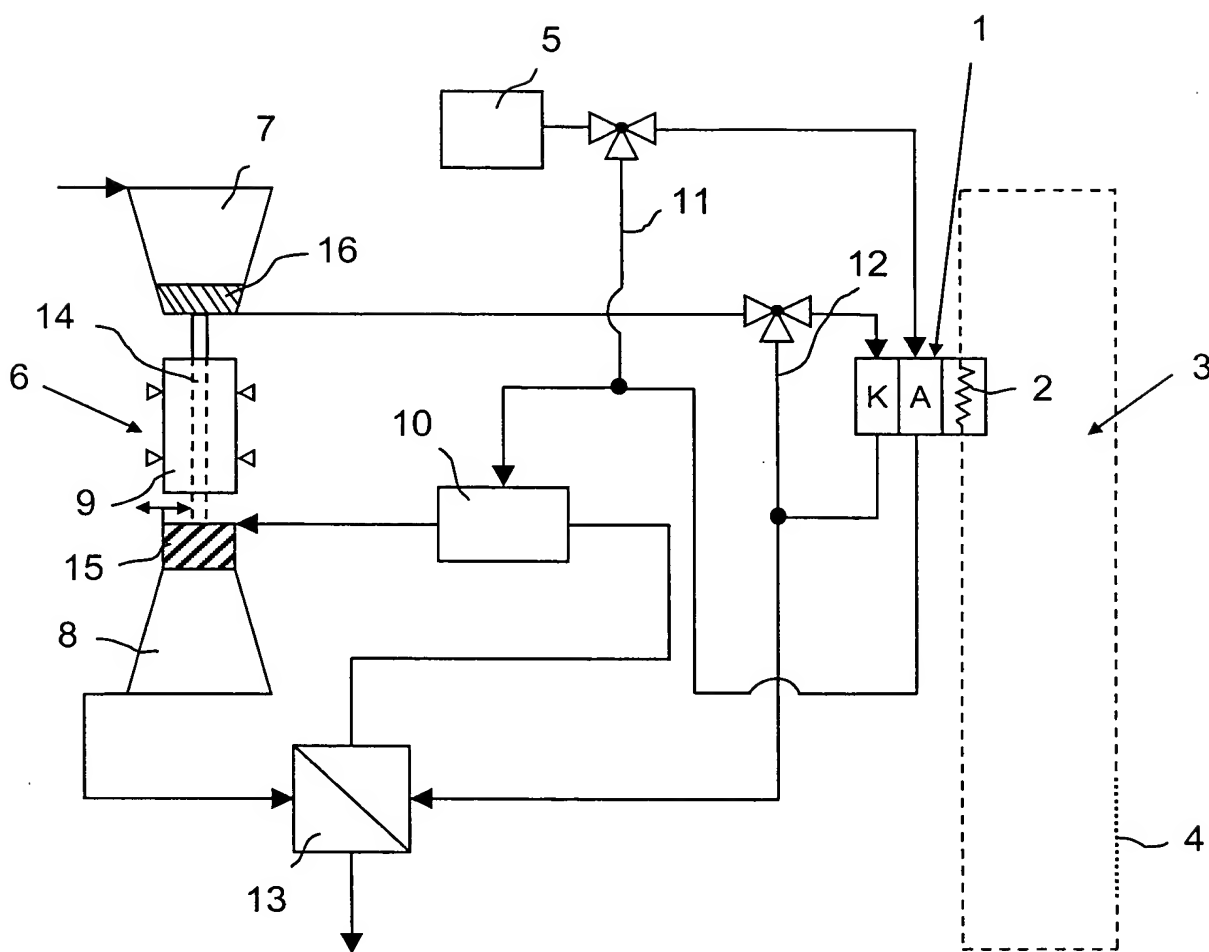


Fig. 1

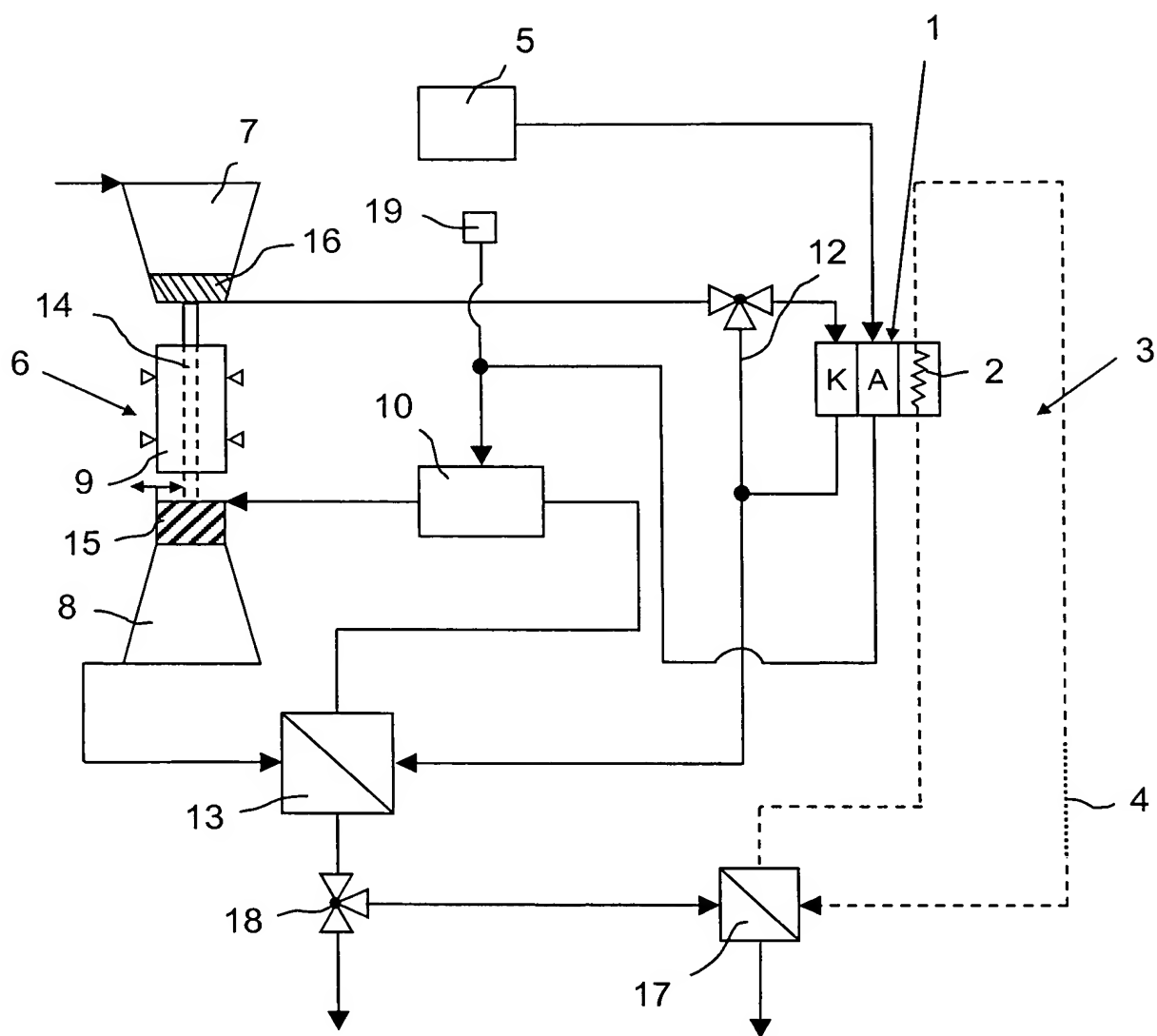


Fig. 2

DaimlerChrysler AG

Senft

11.02.2003

Zusammenfassung

- 5 Eine Vorrichtung dient zur Luftversorgung einer Brennstoffzelle. Sie weist einen Expander und einem zumindest teilweise davon angetriebenen Verdichter auf. Der Expander wird zumindest zeitweise von den heißen Abgasen einer Verbrennung durchströmt.
- 10 Erfindungsgemäß geben die Abgase nach dem Durchströmen des Expanders zumindest einen Teil der in ihnen verbleibenden thermischen Restenergie an wenigstens einen der der Verbrennung zugeführten Stoffströme und während eines Kaltstarts insbesondere auch an den Kühlkreislauf der Brennstoffzelle
- 15 ab.
- Eine derartige Vorrichtung kann beispielsweise in einem mobilen Brennstoffzellensystem verwendet werden.